ОТРАСЛЕВОЙ СТАНДАРТ

Проверен в 1986г. (1991г) Срок действия прод до 01.07.99 (08 97)

Изделия радиотехнические СВЧ-диапазона многослойные из стеклопластика

Конструирование

ОСТ 4Г 0.010.222-80

Издание официальное

1981

УДК 621.396.69.001.2 Группа Э2

ОТРАСЛЕВОЙ СТАНДАРТ

ИЗДЕЛИЯ РАДИОТЕХНИЧЕСКИЕ СВЧ-ДИАПАЗОНА МНОГОСЛОЙНЫЕ ИЗ СТЕКЛОПЛАСТИКА
Конструирование

ОСТ 4Г 0.010.222-80

Директивным письмом организации от 31.12.80 № 017-107/К/1299 срок действия установлен с 01.07.82 до 01.07.87.

Настоящий стандарт распространяется на многослойные радиотехнические изделия СВЧ-диапазона из стеклопластика с коробчатым заполнителем, применяемые в радиоэлектронной технике, и устанавливает основные нормы, требования и рекомендации по конструированию.

Стандарт не распространяется на радиотехнические многослойные изделия с сотовым заполнителем.

1. ОСНОВНЫЕ ПОЛОЖЕНИЯ

1.1. Многослойные радиотехнические изделия из стеклопластика (далее - изделия) предназначены для использования в качестве составных элементов радиопрозрачных сооружений (т.е. сооружений, способных эффективно пропускать электромагнитную энергию), испытывающих воздействие внешних распределенных нагрузок при рабочих температурах от минус 60 до плюс 70 °С и низком уровне плотности потока мощности (до 0,5 Вт/см^2) СВЧ-излучения. Рабочий диапазон частот от $3 \cdot 10^7$ до $3 \cdot 10^{10}$ Гц.

2. ОСОБЕННОСТИ КОНСТРУКЦИИ И ВЫБОР МЕТОДА ИЗГОТОВЛЕНИЯ

2.1. Общие положения

2.1.1. Конструктивно изделия представляют собой плоские панели, состоящие из двух наружных листов (обшивок), одного или нескольких

ГР 8232824 от 08.01.82

средних листов и расположенных между ними слоев коробчатого заполнителя.

Наружные поверхности изделия защищены гидрофобным покрытием.

Схема изделия приведена на черт. I.

2.I.2. Размеры и форма изделия определяется конструкцией сооружения, а также возможностями его изготовления (размерами термопечи, технологической оснастки и т.д.) и условиями транспортирования.

Габаритные размеры изделий должны обеспечивать возможность перевозки их автомобильным, водным или железнодорожным транспортом.

Рекомендуемые максимальные габаритные размеры изделия не более 3000x6000xI00 мм.

2.I.3. При необходимости изделие может быть упрочнено по контуру на ширину от 2 до 5 толщин путем введения более жесткого заполнителя.

Торцы изделия окантовывают полосками стеклоткани, пропитанной связующим.

2.I.4. При необходимости вывода влаги из заполнителя в процессе монтажа в торцевой части изделия могут быть выполнены специальные дренажные каналы.

2.I.5. Параметры шероховатости и точность изготовления изделия обеспечиваются технологией изготовления в соответствии с требованиями ОСТ 4Г 0.054.260-80.

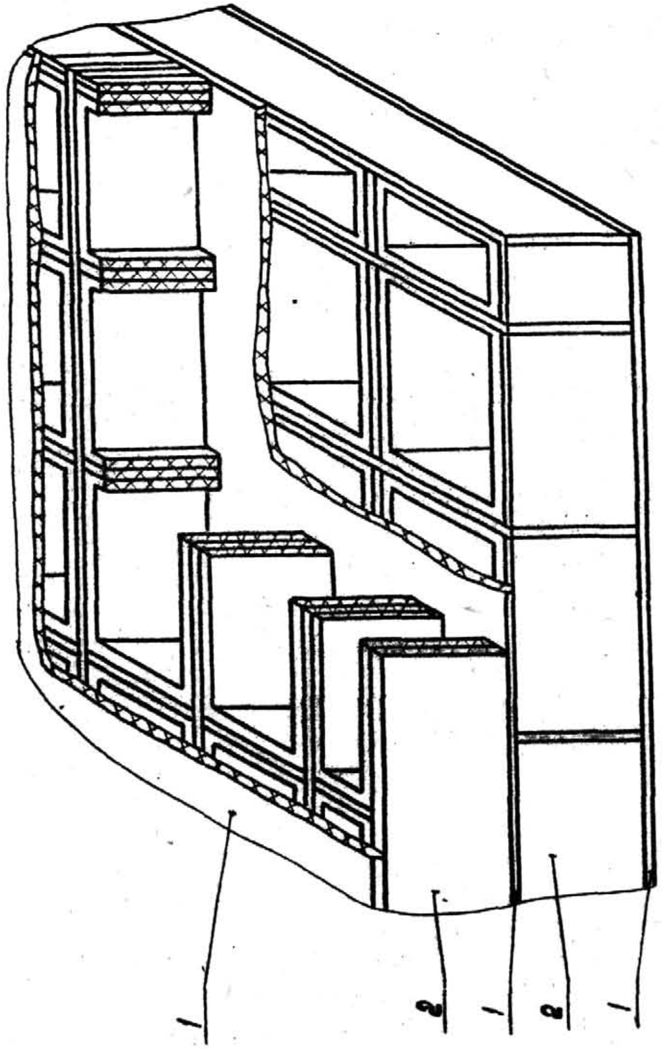
2.2. Конструкция листа

2.2.I. Лист изделия представляет собой высокопрочный стеклопластик толщиной от 0,5 до 2,5 мм, состоящий из спрессованных полотен стеклоткани, пропитанных связующим.

2.2.2. Наружные листы должны быть одинаковыми по толщине и симметрично расположенными относительно среднего листа. Стеклоткань в листах следует ориентировать на основе или утку с учетом радиотехнических требований и механических воздействий на изделие.

2.2.3. Толщину листов определяют из условий обеспечения требуемой несущей способности и максимальной радиопрозрачности изделия.

Схема изделия



I - лист; 2 - заполнитель

Черт. I

2.3. Конструкция заполнителя

2.3.1. Заполнитель служит для обеспечения совместной работы наружных листов и улучшения теплоизоляционных свойств изделия.

Заполнитель представляет собой коробчатую конструкцию (см. черт. 1), каждый слой которой образован укладкой стоек (стрингеров) I и II вида с размерами ячеек 40x40 мм (черт. 2). Ячейки стоек одного слоя смещены относительно ячеек второго слоя в двух взаимно перпендикулярных направлениях на 20 мм. Смещения ячеек достигают за счет укладки на торцах панели стоек III вида с ячейками размером 20x40 мм.

2.3.1.1. Под стойкой подразумевают ячеистую конструкцию, высота которой соответствует высоте одного слоя заполнителя. Элементы стойки выполнены из пропитанного связующим стеклопластика.

2.3.1.2. При изготовлении стоек II и III вида для усиления продольных ребер дополнительно вводят пропитанную связующим стеклоткань.

2.3.1.3. При сборе изделий для увеличения прочности соединения элементов изделия стойки II и III вида оплетают пропитанной связующим стеклотканью.

2.3.2. Применение стеклосетки обеспечивает дренажирование влаги из заполнителя.

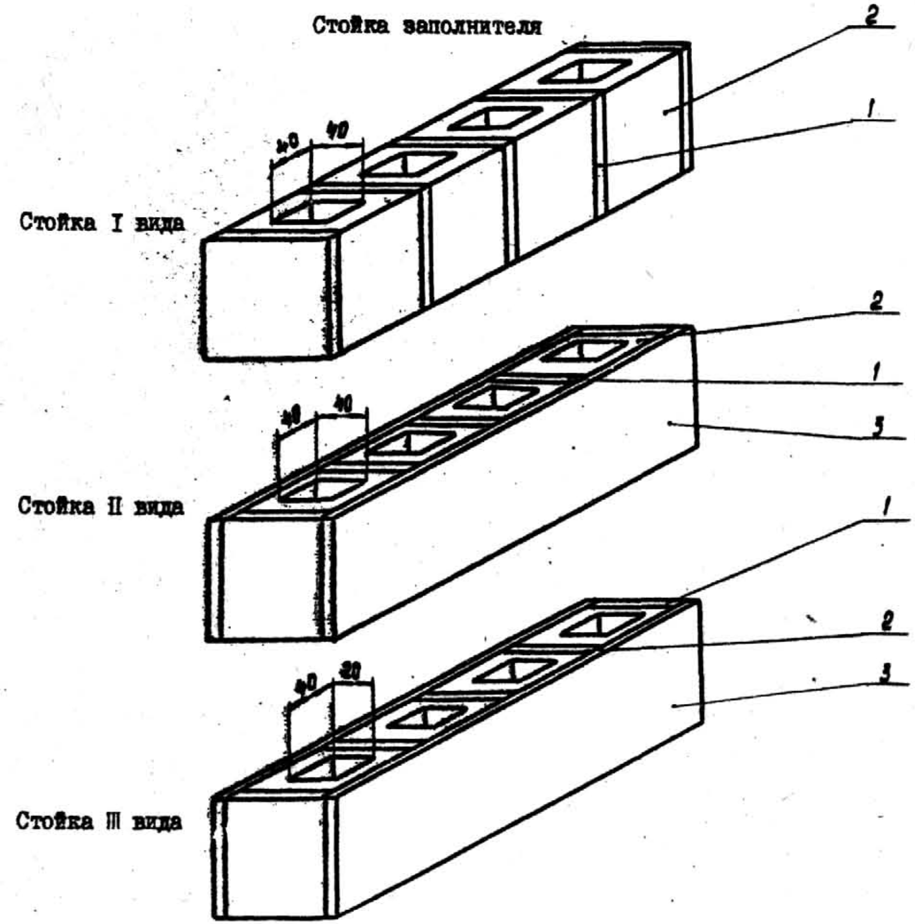
2.3.3. Толщину заполнителя выбирают оптимальной, исходя из условий обеспечения максимальной радиопрозрачности и необходимой жесткости изгиба изделия.

2.3.4. Для изделий следует применять заполнитель толщиной от 10 до 120 мм, что обусловлено конструктивными и технологическими особенностями изделий.

2.3.5. Стойки в заполнителе следует ориентировать в соответствии с радиотехническими и механическими требованиями к изделию.

2.3.6. В изделиях следует применять заполнитель, изготовленный по ОСТ 4Г 0.054.260-80.

Стойка заполнителя



1 - ребро из стеклосетки; 2 - оплетка с ромбическими ячейками из стеклоткани; 3 - полоса из стеклоткани

Черт. 2

2.4. Выбор метода изготовления

2.4.1. Выбор метода изготовления изделий необходимо производить с учетом структуры и основных габаритных размеров изделий.

2.4.2. Изделие изготавливают согласно типовому технологическому процессу (ТТП), изложенному в ОСТ 4Г 0.054.260 -80.

2.4.3. Основным методом изготовления изделия является метод вакуумного формования. При наличии автоклавов рекомендуется применять их при изготовлении листов. Термообработку и прессование листов следует производить в автоклаве при давлении от 0,5 до 2,5 МПа.

2.4.4. При изготовлении крупных серий изделий малых габаритов и простой формы следует применять метод прямого прессования с помощью пуансона и матрицы. Этот метод обеспечивает высокую точность размеров и формы изделий, высокую производительность и стабильность технологических процессов.

3. МАТЕРИАЛЫ ДЛЯ ИЗГОТОВЛЕНИЯ ИЗДЕЛИЙ

3.1. Материалы для изготовления изделий приведены в табл. 1.

3.2. Заполнитель следует изготавливать из стеклопластика на основе стеклянных комплексных нитей, фильтровальной стеклянной сетки и конструкционных стеклянных тканей и связующих эпоксифенольного состава.

3.3. При выборе материалов для изготовления изделий следует исходить из радиотехнических, физико-механических и теплофизических требований, предъявляемых к изделию, с учетом климатической стойкости и технологических возможностей изготовления.

Таблица 1

Материалы для изготовления изделий

Наименование	Марка	ГОСТ, ТУ
Ткань конструкционная из стеклянных крученых комплексных нитей	Т-10, Т-11, Т-13	ГОСТ 19170-73
Сетка стеклянная фильтровальная	ССФ-2, ССФ-4	ТУ 6-11-57-73
Нити стеклянные комплексные крученые	БС3-1,8х1х2(100)	ГОСТ 8325-78

Продолжение табл. 1

Наименование	Марка	ГОСТ, ТУ
Лак бакелитовый	ЛБС-1	ГОСТ 901-78
Смола эпоксидная	ЭД-16, ЭД-20	ГОСТ 10587-76 84
Материал прессовочный	АГ-4С, АГ-4В	ГОСТ 20437-75
Полиэтиленполиамин	ПЭПА	ТУ 6-02-594-75 80
Пенопласт	ФК-20	ТУ 6-05-1303-76
Дибутилфталат	ДБФ	ГОСТ 8728-77 88

3.4. В табл. 2 и 3 приведены в качестве примера физико-механические и радиотехнические характеристики соответственно листа и изделия (толщина листа 1 мм, толщина изделия 58 мм), выполненных из материалов, приведенных в табл. 1.

3.5. Для изделий с различными толщинами (п. 2.2.1) листа и заполнителя (п. 2.3.4) характеристики могут быть определены расчетным путем по методикам, приведенным в обязательных приложениях 1, 2 и 3.

Таблица 2

Физико-механические и радиотехнические характеристики листа

Наименование параметра	Значение параметра
Плотность ρ, кг/м^3	1700-1800
Предел прочности наружных листов, реализуемый в пакете σ_0, Па (кгс/мм^2), не менее	$37{,}24\cdot10^6(3{,}8)$
Модуль упругости при растяжении $E_{раст}$, Па (кгс/мм^2), не менее	$17{,}64\cdot10^9(1{,}8\cdot10^3)$
Модуль упругости при изгибе $E_{изг}$, Па (кгс/мм^2), не менее	$12{,}74\cdot10^9(1{,}3\cdot10^3)$
Предел прочности при растяжении $\sigma_{раст}$, Па (кгс/мм^2), не менее	$343\cdot10^6(35)$
Предел прочности при изгибе $\sigma_{изг}$, Па (кгс/мм^2), не менее	$294\cdot10^6(30)$
Относительная диэлектрическая проницаемость при частотах 10^9-10^{10} Гц ε, не более	4,5

Продолжение табл. 2

Наименование параметра	Значение параметра
Тангенс угла диэлектрических потерь при частотах 10^{9} – 10^{10} Гц $tg\,\delta$, не более	0,025

Таблица 3

Физико-механические и радиотехнические характеристики изделия

Наименование параметра	Значение параметра
Плотность ρ, кг/м^3	100-200
Цилиндрическая жесткость D, Н·м (кгс·см), не менее	$2{,}94\cdot10^{4}(3\cdot10^{3})$
Приведенный модуль сдвига заполнителя $\bar{G}$, Па (кгс/см^2), не менее	$196\cdot10^{5}(200)$
Приведенный предел прочности при изгибе $\bar{\sigma}_{изг}$, Па (кгс/см^2), не менее	$323{,}4\cdot10^{4}(320)$
Приведенный предел прочности заполнителя при сжатии $\bar{\sigma}_{сж}$, Па (кгс/см^2), не менее	$39{,}2\cdot10^{4}(4)$
Термическое сопротивление $R_{т}$, м^2·К/Вт (ч·м^2·град/ккал), не менее	0,31(0,36)
Коэффициент прохождения по мощности $\lvert T\rvert^2$, не менее	
для перпендикулярной поляризации при угле падения:	
0^{0}	0,95
30	0,97
45	0,89

Продолжение табл. 3

Наименование параметра	Значение параметра
для параллельной поляризации при угле падения:	
0^{0}	0,95
30	0,97
45	0,96

Примечание. Значения характеристик получены при нормальных климатических условиях. При снижении температуры до минус 60 °С механические характеристики изделия практически не изменяются, а при повышении температуры от нормальной до плюс 70 °С – ухудшаются (ориентировочно на 20 %). Радиотехнические характеристики в указанном диапазоне частот не меняются; величина термического сопротивления может изменяться до 10 % в зависимости от перепада температур на поверхности изделия.

4. КОНСТРУИРОВАНИЕ

4.1. Общие положения

4.1.1. Конструирование изделий включает:

выбор исходного материала для листов и заполнителя;

выбор оптимальных геометрических параметров листов и заполнителя в зависимости от физико-механических и радиотехнических требований;

оформление конструктивных элементов изделий (оформление торцев, расположение, размеры и конфигурация крепежных отверстий);

выбор вида покрытия;

оформление чертежей на изделие.

4.1.2. Для листов и изделий следует применять стеклянные ткани и нити (см. табл. 1).

Физико-механические и радиотехнические характеристики листов и изделий должны соответствовать указанным в табл. 2 и 3.

4.2. Технические требования

4.2.1. В технических требованиях на разработку изделий должны быть указаны радиотехнические, физико-механические, теплофизические, конструктивные требования и технико-экономические показатели.

4.2.2. В качестве радиотехнических требований должны быть указаны:

диапазон рабочих частот;
углы падения электромагнитной энергии на изделие;
коэффициент прохождения электромагнитной энергии через изделие;
коэффициент эллиптичности за счет влияния изделия;
вид поляризации сигнала, проходящего через изделие;
плотность потока мощности, падающей на изделие.

4.2.3. В качестве физико-механических требований должны быть указаны:
предел прочности материала наружных листов (обшивок), реализуемого в изделии;
цилиндрическая жесткость изделия;
приведенный модуль сдвига заполнителя;
приведенный предел прочности при изгибе;
приведенный предел прочности при сжатии.

4.2.4. В качестве конструктивных требований должны быть указаны:
требования по оформлению торцев;
наличие мест крепежа, отверстий;
требования к покрытию изделия;
требования к маркировке и клеймению изделия.

4.2.5. В качестве теплофизических требований должно быть указано термическое сопротивление изделия.

4.2.6. В качестве технико-экономических показателей должны быть указаны:
стоимость единицы площади изделия;
ограничения применения дефицитных материалов;
рекомендации по применению материалов отечественного производства.

4.3. Определение оптимальных геометрических размеров конструктивных элементов и выбор конструкции изделия

4.3.1. Конструирование изделия производят в следующем порядке:
выбирают тип материала листов и заполнителя по физико-механическим характеристикам и технологическим свойствам;
определяют толщины слоев изделия, исходя из условия получения оптимальных радиотехнических требований;
определяют расчетные характеристики изделия, указанные в пп. 4.2.2, 4.2.3 и 4.2.4. Расчет характеристик производят по методикам обязательных приложений 1-3;

производят анализ полученных радиотехнических, физико-механических и теплофизических характеристик изделия на соответствие требованиям, заданным пп. 4.2.2, 4.2.3 и 4.2.4. При этом должны учитываться также технико-экономические показатели п. 4.2.6;
по результатам анализа производят уточнение геометрических размеров изделия;
окончательный выбор конструкции изделия осуществляют по результатам экспериментальных исследований характеристик образцов многослойного изделия и его составных элементов.

4.4. Требования к конструктивным элементам изделия

4.4.1. Конструкция торцев изделия должна обеспечивать необходимую прочность и жесткость при воздействии повышенных нагрузок, действующих на торцы в процессе изготовления, транспортирования, монтажа и эксплуатации.

4.4.2. При необходимости для предохранения торцев изделия от смятия между листами устанавливают закладные элементы для повышения жесткости заполнителя в соответствии с рекомендациями п.2.1.3 (черт. 3).

4.4.3. Для изготовления закладных элементов заполнителя следует применять материалы (стеклотекстолит, пенопласт), коэффициент температурного расширения которых близок к коэффициенту температурного расширения материала наружных листов (обшивок).

4.4.4. Для предупреждения отрыва обшивок торцы следует закрывать окантовкой.

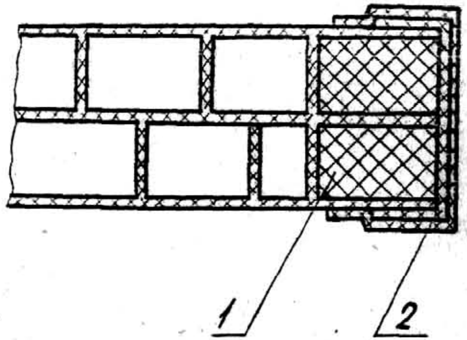
4.4.5. Расположение и размеры крепежных деталей следует выбирать в соответствии с величиной и направлением действующих на изделие механических нагрузок.

4.4.6. Для повышения контактной прочности в местах размещения крепежных деталей должны быть установлены втулки, изготовленные из пресс-материала, текстолита или других материалов (черт. 4).

4.5. Защита изделий от климатических воздействий

4.5.1. Изделие должно сохранять свои рабочие характеристики, указанные в п. 4.2, в условиях воздействия следующих климатических факторов в течение всего заданного срока эксплуатации:

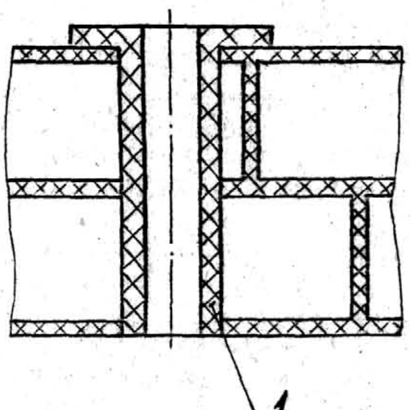
Торец изделия



I – элемент закладной; 2 – окантовка торца

Черт. 3

Установка втулки



I – втулка

Черт. 4

повышенных и пониженных температур (от минус 60 до плюс 70 °С);

повышенной относительной влажности;

после выпадения и испарения или удаления осадков в виде росы, дождя, снега, льда, инея;

солнечной радиации;

ветра, песка и пыли.

4.5.2. Изделие должно быть защищено от проникновения влаги путем нанесения на наружные поверхности ~~гидрофобных покрытий. Следует применять следующие покрытия:~~

~~органосиликатный материал ВН-30ДТС ГОСТ 5.I496-72;~~

органосиликатная ОС композиция и ОС-I2-03, белая ТУ 84-725-78.

4.6. Особенности оформления чертежей изделий

4.6.I. Чертежи изделий должны быть оформлены в соответствии с требованиями ЕСКД и с учетом особенностей, изложенных в настоящем разделе.

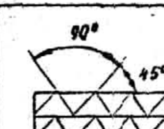
4.6.2. Графическое обозначение материала изделия в сечениях и на видах в зависимости от применяемых наполнителей должно соответствовать табл. 4.

В технических требованиях чертежа делают запись: "Принятое на чертеже графическое обозначение материала изделия по ОСТ 4Г 0.0I0.222-80".

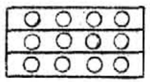
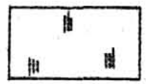
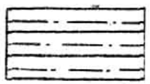
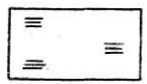
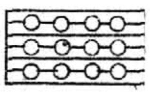
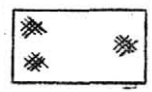
Примечание. Наполнитель – волокнистый армирующий материал (волокно, ткань, сетка и т.п.), используемый при изготовлении изделия.

Таблица 4

Условные обозначения материалов в сечениях

Композиционный материал	Графическое обозначение элементов изделия		Примечание
	в сечении	на виде	
На основе ткани		—	Направление основы по ГОСТ 2.I09-73

Продолжение табл. 4

Композиционный материал	Графическое обозначение элементов изделия		Примечание
	в сечении	на виде	
На основе нитей с прямой намоткой (сечение поперек волокон)			
с прямой намоткой (сечение вдоль волокон)			
с косой переплетной намоткой			
На основе сетки	По ГОСТ 2.306-68		Направление основы по ГОСТ 2.I09-73

4.6.3. Графическое обозначение композиционного материала на виде следует применять при необходимости выявления вида материала.

4.6.4. На сборочных чертежах составные части изделия, на которые выпущены самостоятельные чертежи, в разрезах и сечениях штрихуют как неметаллические материалы согласно ГОСТ 2.306-68.

4.6.5. Если для изготовления изделия из композиционного материала используют один вид армирующего материала, то чертеж этого изделия следует оформлять как чертеж детали.

Расположение слоев материала относительно друг друга следует показывать в сечениях или на выносных элементах.

Запись материала производят в технических требованиях чертежа, а в графе 3 основной надписи делают ссылку на номер пункта технических требований, например "см. п. I".

Запись материала производят по типу: "Стеклопластик на основе ткани Т-I0(90) ГОСТ I9I70-73 и связующего ЭФ-32-30I-I6 по ОСТ4ГО.054.260-80

ОСТ 4Г 0.054.260-80.

4.6.6. Композиционный материал, получаемый в процессе сборки, выносят в спецификацию сборочной единицы в раздел "Материалы".

Запись производят по типу, указанному в п. 4.6.5.

4.6.7. На сборочных чертежах следует помещать схемы укладки наполнителя.

4.6.8. Размер толщин детали, изготовленной из однородных армирующих компонентов, указывают с предельными отклонениями и отмечают знаком "**", а в технических требованиях записывают: "Размер обеспеч. инстр.".

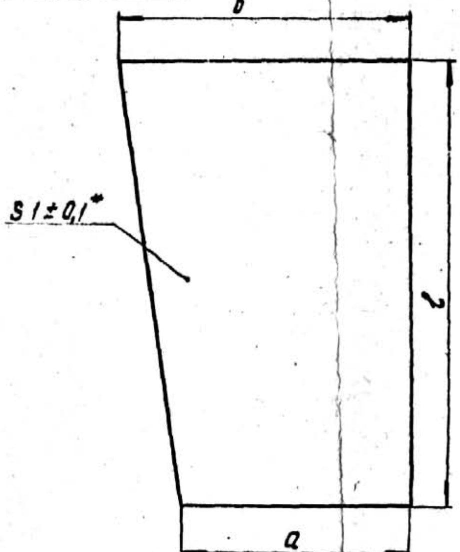
При необходимости указания количества слоев запись делают по типу: "Размер обеспеч. инстр. Количество слоев не менее трех".

Размер толщины одного слоя указывают как справочный.

4.6.9. Примеры оформления чертежей на изделие из композиционного материала приведены на черт. 5, 6 и 7.

Пример оформления чертежа листа

БIА7.844.ХХХ



Обозначение	Размеры, мм			Масса, кг
	а	в	с	
БIА7.844.ХХХ	1449-3	1818-3	2732-3	7,39
-01	1444-3	2037-3	2422-3	7,00

1. Стеклопластик на основе ткани Т-10 (90) ГОСТ 19170-73 и связующего ЭФ-32-301-16 инструкция ХХХ.ХХХХХ.ХХХХХ
2. Размер s обеспеч. укладкой 4 слоев ткани
3. *Размер обеспеч. инстр.
4. При укладке ткани изменить направление основы смежных слоев на 90°
5. Ткань укладывать встык, зазор не более 3мм.

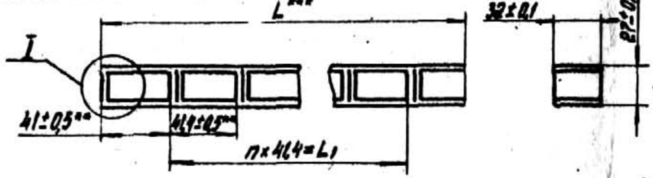
Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата	БIА7.844.ХХХ			
Разраб.					Лист	Лит.	Масса	Масшт.
Пров.							См. табл.	
Т.контр.						Лист	Листов 1	
Н.контр.					См. п.1			
Утв.								

Инв. № подл. | Подп. и дата | Взам. инв. № | Инв. № дубл. | Подп. и дата

Черт. 5

Пример оформления сборочного чертежа стойки

ЫА 4. 886 ХХХ СБ



I
M1:1

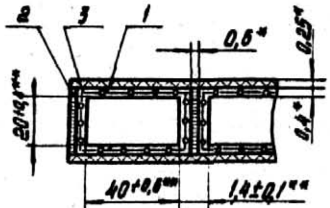
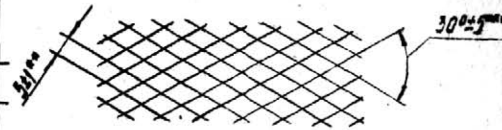


Схема укладки материала, поз. 3



Обозначение	L, мм	n	L1, мм	масса, кг
ЫА4.886.ХХХ	1500±2	35	1449±2	0,06
-01	1600±2	37	1532±2	0,07
-02	1700±2	40	1656±2	0,08

1.* Размеры для справок.
2.** Размеры обеспеч. инстр.
3.*** Размер с припуском на подгонку по черт. ЫА4.882. ХХХ СБ.
4. Принятое на чертеже графическое обозначение наполнителя в сечениях согласно ОСТ 4 Г0. 010. 222. —80.

Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата
Разраб.				
Пров.				
Т. контр.				
Н. контр.				
Утв.				

ЫА 4. 886. ХХХ СБ

Стойка
Сборочный чертеж

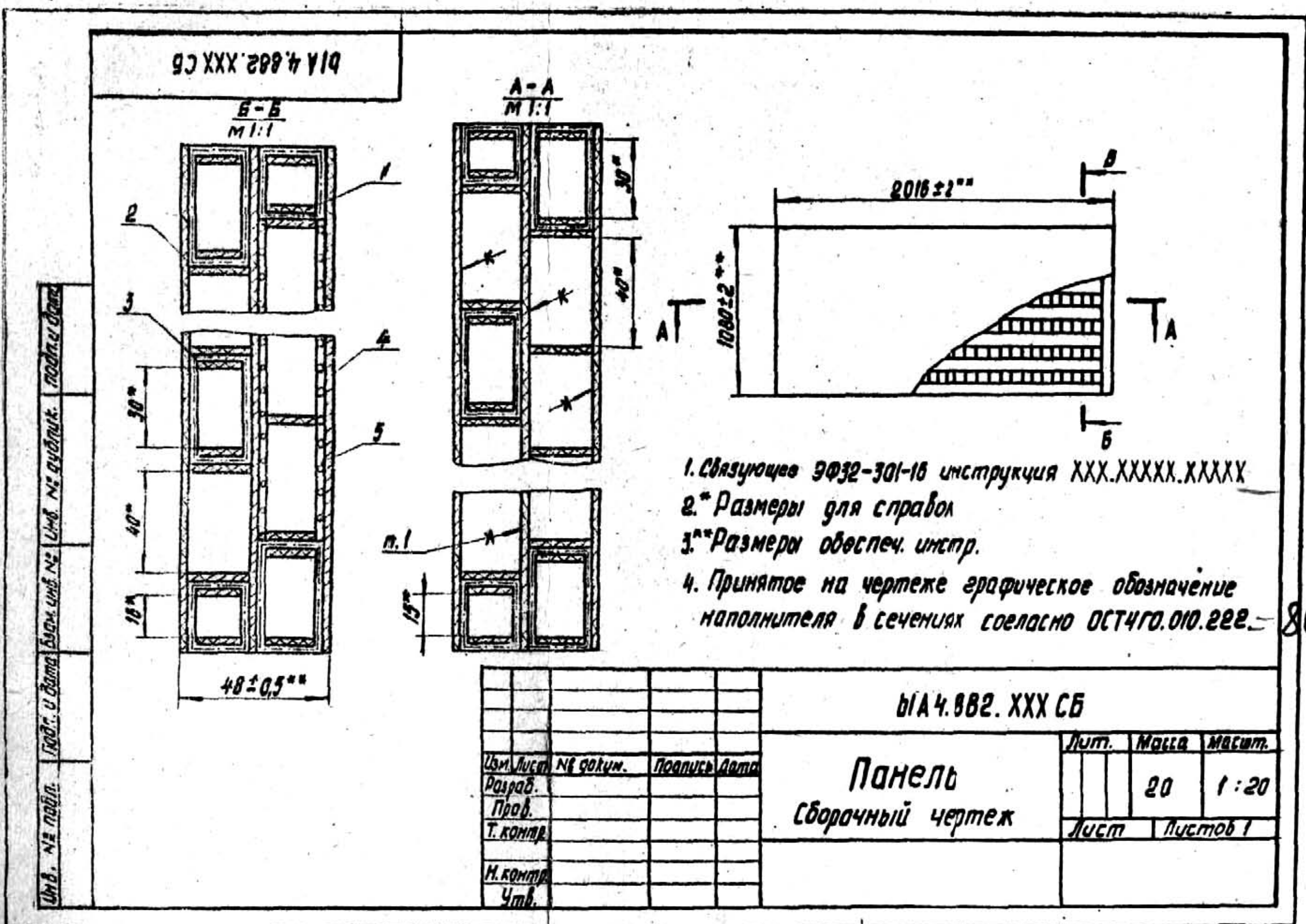
Лит.	Масса	Масшт.

Лист | Листов 1

Инв. № подл. | Подп. и дата | Взам. инв. № | Инв. № дубл. | Подп. и дата

1

Пример оформления сборочного чертежа панели



Черт. 7

ПРИЛОЖЕНИЕ I
Обязательное

МЕТОДИКА РАСЧЕТА РАДИОТЕХНИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК МНОГОСЛОЙНЫХ ИЗДЕЛИЙ СВЧ-ДИАПАЗОНА ИЗ СТЕКЛОПЛАСТИКА

I. ИСХОДНЫЕ ДАННЫЕ

I.I. Конструкция изделия - симметричная многослойная панель из стеклопластика.

I.2. Материалы плотных слоев и слоев заполнителя принимают однородными и изотропными.

I.3. Диэлектрические характеристики материалов плотных слоев и слоев заполнителя соответствуют полному ряду характеристик диэлектриков, используемых в радиопрозрачных изделиях.

I.4. Диэлектрические характеристики заполнителя усреднены по занимаемому объему. Для устранения возможных резонансных явлений характерные размеры структурного заполнителя не должны быть соизмеримы с рабочей длиной волны.

I.5. Тип падающей электромагнитной волны - плоская монохроматическая.

I.6. Поляризация падающей волны - параллельная и перпендикулярная.

I.7. Угол падения волны на изделие - произвольный.

I.8. Рабочий диапазон частот от $3 \cdot 10^{7}$ до $3 \cdot 10^{10}$ Гц.

2. РАСЧЕТ РАДИОТЕХНИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК МНОГОСЛОЙНОГО ИЗДЕЛИЯ

2.I. Физической основой расчета радиотехнических характеристик изделия является аналогия свойств для распространяющихся электромагнитных волн в диэлектрической среде с границами раздела и в ступенчатой передающей линии с заданными параметрами, что позволило для расчета характеристик сложных структур использовать хорошо разработанный аппарат передающих линий.

2.2. Комплексный коэффициент прохождения имеет вид

$$\dot{T}(\theta) = |T(\theta)| e^{i\Phi(\theta)}, \qquad (I)$$

где $|T(\theta)|$ – модуль амплитуды коэффициента прохождения;

$\Phi(\theta)$ – фаза прошедшей через изделие волны;

θ – угол падения волны на изделие;

$i = 0, 1, 2 \ldots n$ – порядковый номер слоя ($i = 0$, соответствует окружающей среде – свободному пространству).

Для произвольного угла падения луча на изделие модуль и фаза коэффициента прохождения для перпендикулярной и параллельной поляризации определяется по следующим формулам:

$$|T(\theta)| = \left(\frac{1+Z_0}{1+R_1}\right)\left(\frac{1+Z_1}{1+R_2}\right)\cdots\left(\frac{1+Z_{n-1}}{1+R_n}\right) \quad (2)$$

и

$$\Phi(\theta) = \sum_{i=1}^{n}(\varphi_i + S_i), \quad (3)$$

где n – число слоев изделия;

$Z_0 = 0$, $Z_i = R_i e^{-2(\varphi_i + S_i)}$ – промежуточный параметр;

$$R_{i+1} = \frac{\eta_i(1+Z_i) - \eta_{i+1}(1-Z_i)}{\eta_i(1+Z_i) + \eta_{i+1}(1-Z_i)}$$ – промежуточный параметр;

$$\varphi_i = \frac{2\pi d_i}{\lambda_0}\sqrt{\varepsilon_i - \sin^2\theta}$$ – электрическая толщина i-го слоя; (4)

$$S_i = \frac{\pi d_i \varepsilon_i \operatorname{tg}\delta_i}{\lambda_0\sqrt{\varepsilon_i - \sin^2\theta}}$$ – коэффициент потерь i-го слоя; (5)

$$\eta_i^{\perp} = \frac{1}{\sqrt{\varepsilon_i - \sin^2\theta}}$$ – волновое сопротивление i-го слоя для перпендикулярной поляризации; (6)

$$\eta_i^{\parallel} = \frac{1}{\varepsilon_i}\sqrt{\varepsilon_i - \sin^2\theta}$$ – волновое сопротивление i-го слоя для параллельной поляризации; (7)

λ_0 – значение рабочей волны в свободном пространстве.

Последовательно производя подстановку исходных данных материала i-го слоя (d_i – геометрическая толщина; ε_i – диэлектрическая проницаемость; $\operatorname{tg}\delta_i$ – тангенс угла диэлектрических потерь, а также углов падения волны на изделие θ и рабочей длины волны λ) в формулы 1-7, определить комплексный коэффициент прохождения.

2.3. Расчет коэффициента аллиптичности производят по формуле

$$K_э = \sqrt{\frac{1+\left|\frac{T(\theta)_\perp}{T(\theta)_\parallel}\right|^2 - \sqrt{\left[1+\left|\frac{T(\theta)_\perp}{T(\theta)_\parallel}\right|^2\right]^2 - 4\left|\frac{T(\theta)_\perp}{T(\theta)_\parallel}\right|^2 \cos\left[\Phi(\theta)_\perp - \Phi(\theta)_\parallel\right]}}{1+\left|\frac{T(\theta)_\perp}{T(\theta)_\parallel}\right|^2 + \sqrt{\left[1+\left|\frac{T(\theta)_\perp}{T(\theta)_\parallel}\right|^2\right]^2 - 4\left|\frac{T(\theta)_\perp}{T(\theta)_\parallel}\right|^2 \cos\left[\Phi(\theta)_\perp - \Phi(\theta)_\parallel\right]}}}, \quad (8)$$

где $\perp$, $\parallel$ – обозначение ориентаций поля относительно плоскости падения ($\parallel$ – параллельная поляризация, $\perp$ – перпендикулярная поляризация);

$T(\theta)_{\perp,\parallel}$; $\Phi(\theta)_{\perp,\parallel}$ – соответственно амплитуды и фазы прошедшей волны для перпендикулярной и параллельной поляризации для рассматриваемого угла падения, найденные по приведенному выше алгоритму.

3. ПОРЯДОК РАСЧЕТА

3.1. Определяют толщину слоев заполнителя из условия получения максимальных значений коэффициента прохождения в заданном диапазоне частот и заданном секторе углов падения электромагнитной волны. Для расчета необходимо задать толщину наружных и средних листов изделия в соответствии с требованиями прочности и технологичности.

Рекомендуется определить 2–3 значения толщин заполнителя, при которых коэффициент прохождения достигает максимума.

3.2. Проводят расчет коэффициента термического сопротивления изделия с толщинами слоев, определенными по п. 3.1. Выбирают толщину заполнителя, при которой обеспечивается требуемое термическое сопротивление.

3.3. Производят расчет механических характеристик изделия по методике обязательного приложения 2. По результатам расчета уточняют толщину листов изделия.

3.4. После корректировки толщин слоев изделия проводят окончательный расчет характеристик изделия.

ПРИЛОЖЕНИЕ 2
Обязательное

МЕТОДИКА РАСЧЕТА ОСНОВНЫХ ПРИВЕДЕННЫХ МЕХАНИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК ПЯТИСЛОЙНОГО ИЗДЕЛИЯ ИЗ СТЕКЛОПЛАСТИКА*

1. ОБЩИЕ ПОЛОЖЕНИЯ

1.1. Основными приведенными механическими характеристиками, необходимыми при конструировании изделий из пятислойного стеклопластика, являются следующие:

приведенные модули упругости и сдвига заполнителя;

цилиндрическая жесткость пятислойного изделия;

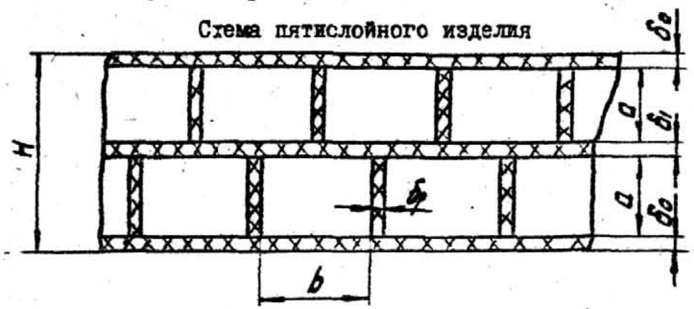
максимальное напряжение изгиба в наружных обшивках.

1.2. Ниже приведены формулы для вычисления указанных величин через модуль упругости материала сплошного листового стеклопластика и через геометрические параметры радиотехнического пятислойного изделия из стеклопластика.

2. ГЕОМЕТРИЧЕСКИЕ ПАРАМЕТРЫ ИЗДЕЛИЙ

2.1. Геометрические параметры пятислойного изделия из стеклопластика, используемые в расчете, показаны на схеме.

Схема пятислойного изделия



а – толщина заполнителя; b – расстояние между ребрами заполнителя; Н – толщина пятислойного стеклопластика; δ_0 – толщина обшивки; δ_1 – толщина промежуточного слоя; δ_p – толщина ребра

*Настоящая методика в качестве примера рассматривает случай пятислойного изделия. При необходимости данный метод расчета может быть распространен на многослойные структуры, состоящие из любого количества слоев.

3. ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПРИВЕДЕННЫХ МОДУЛЕЙ УПРУГОСТИ, СДВИГА ЗАПОЛНИТЕЛЯ И ЦИЛИНДРИЧЕСКОЙ ЖЕСТКОСТИ ИЗДЕЛИЯ

3.1. Приведенный модуль упругости заполнителя определяют по формуле

$$\bar{E}_{зап} = \frac{E \cdot \delta_p}{b + \delta_p}, \qquad (1)$$

где $\bar{E}_{зап}$ – приведенный модуль упругости заполнителя;

E – модуль упругости стеклопластика.

3.2. Приведенный модуль сдвига заполнителя определяют по формуле

$$\bar{G} = \frac{1}{2} G \frac{\delta_p}{b + \delta_p}, \qquad (2)$$

где $\bar{G}$ – приведенный модуль сдвига заполнителя;

G – модуль сдвига сплошного стеклопластика.

3.3. Цилиндрическую жесткость пятислойного изделия из стеклопластика на единицу ширины рассматриваемого сечения определяют по приближенной формуле

$$D = \frac{1}{2} E \delta_0 (H - \delta_0)^2, \qquad (3)$$

где D – цилиндрическая жесткость пятислойного изделия.

Для определения точного значения цилиндрической жесткости следует пользоваться формулой

$$D = \frac{E\delta_0}{3(1-\nu^2)}\left[8\delta_0^2 + 12a^2 + 3\delta_1^2 + 12\delta_1 a + 9\delta_0\delta_1 + 12\delta_0 a - \frac{3}{2}H(4\delta_0 + 4a + 2\delta_1) + \frac{3}{2}H^2\right] +$$
$$+ \frac{\bar{E}_{зап} \cdot a}{3}\left[6\delta_0^2 + 8a^2 + 3\delta_1^2 + 9\delta_1 a + 6\delta_0\delta_1 + 9\delta_0 a - \frac{3}{2}H(4\delta_0 + 4a + 2\delta_1) + \frac{3}{2}H^2\right] + \qquad (4)$$
$$+ \frac{E\delta_1}{3(1-\nu^2)}\left[3\delta_0 + 3a^2 + \delta_1^2 + 3\delta_1 a + 3\delta_0\delta_1 + 6\delta_0 a - \frac{3}{2}H(2\delta_0 + 2a + \delta_0) + \frac{3}{2}H^2\right],$$

где ν – коэффициент Пуассона сплошного стеклопластика.

4. ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПРЕДЕЛОВ ПРОЧНОСТИ ПЯТИСЛОЙНОГО ИЗДЕЛИЯ ПРИ ИЗГИБЕ И СЖАТИИ

4.1. Предел прочности материала наружных листов (обшивок), реализуемый в изделии, определяют по формуле

$$\sigma_0 = \frac{M_{изг} \cdot H}{4a\delta_0(a+\delta_0+\delta_1)}, \qquad (5)$$

где σ_0 – предел прочности материала обшивок;

$M_{изг}$ – разрушающий изгибающий момент на единицу ширины рассматриваемого сечения.

4.2. Приведенный предел прочности при изгибе определяют по формуле

$$\bar{\sigma}_{изг} = \frac{6 \cdot M_{изг}}{H^2}, \qquad (6)$$

где $\bar{\sigma}_{изг}$ – приведенный предел прочности при изгибе.

4.3. Приведенный предел прочности при сжатии перпендикулярно плоскости наружных листов (обшивок) определяют по формуле

$$\bar{\sigma}_{сж} = \frac{P_{разр}}{F}, \qquad (7)$$

где $\bar{\sigma}_{сж}$ – приведенный предел прочности при сжатии;

$P_{разр}$ – разрушающая нагрузка;

F – площадь образца.

ПРИЛОЖЕНИЕ 3
Обязательное

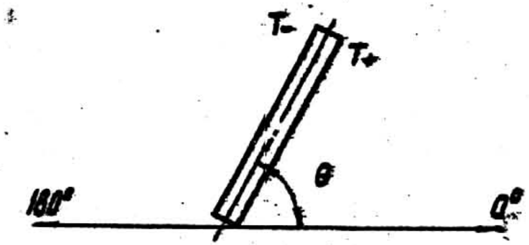
МЕТОДИКА РАСЧЕТА ТЕРМИЧЕСКОГО СОПРОТИВЛЕНИЯ ПЯТИСЛОЙНОГО ИЗДЕЛИЯ ИЗ СТЕКЛОПЛАСТИКА*

1. ОБЩИЕ ПОЛОЖЕНИЯ

1.1. Определяют термическое сопротивление R_T пятислойного изделия для углов наклона от 0 до 180° в стационарном режиме.

1.2. Рассматривают три расчетных случая в зависимости от угла наклона изделия к горизонту и направления теплового потока (черт. 1).

Возможные случаи расположения изделия в пространстве



Черт. 1

В первом расчетном случае изделие располагается под углом θ = 180°, нагрев происходит сверху.

Во втором расчетном случае изделие располагается в диапазоне углов 0-90°, нагрев происходит снизу.

В третьем расчетном случае изделие располагается в диапазоне углов 90-180°, нагрев происходит сверху.

2. ПЕРВЫЙ РАСЧЕТНЫЙ СЛУЧАЙ

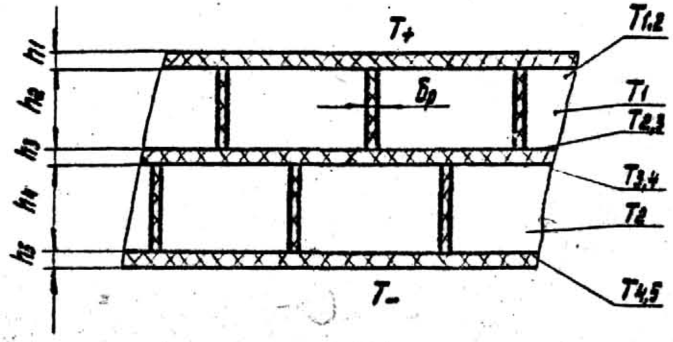
2.1. В первом расчетном случае теплопередача происходит путем излучения и путем теплопроводности (кондукции).

2.2. Исходя из заданных значений температур греющей T_+ и на-

*Настоящая методика в качестве примера рассматривает случай пятислойного изделия. При необходимости данный метод расчета может быть распространен на многослойные структуры, состоящие из любого количества слоев.

греваемой T_- сред по обеим сторонам изделия, принимают произвольное распределение температур T_I, T_2, $T_{I,2}$, $T_{2,3}$, $T_{3,4}$ и $T_{4,5}$ (черт. 2) по слоям пятислойного изделия, например по линейному закону.

Структура пятислойной стенки изделия
и обозначение температур по слоям



Черт. 2

2.3. Определяют значение лучисто-кондуктивной теплопроводности заполнителя для нагретой части изделия (см. черт. I и 2) по формуле

$$\lambda'_л = \frac{f(\sigma_1 \ell_1 \mu)}{f'(\sigma_1 \ell_1 \mu)} \cdot \frac{2\delta_р \lambda_р}{h_2} \left(\frac{\sigma}{\ell} + \ell\right), \qquad (1)$$

где $f(\sigma_1 \ell_1 \mu) = \sigma + \ell M + \ell^2 - \ell^{-2M}(\sigma + \ell^2 - \ell M)$;

$$f'(\sigma_1 \ell_1 \mu) = \sigma + \frac{\sigma}{\ell} + \ell^2 + \ell M - \ell^{-2M}\left(\sigma + \frac{\sigma}{\ell} + \ell^2 - \ell M\right),$$

$$M = \sqrt{\mu(\ell^2 + \sigma)}, \quad \ell = \frac{Lh_2}{4F_я}, \quad \sigma = \frac{2C_0 \cdot T^3_{1,2} \cdot h_2^2}{\delta_р \cdot \lambda_р},$$

$\lambda_р$ – теплопроводность материала ребер заполнителя;

μ – степень черноты стенок ячейки;

C_0 – коэффициент излучения абсолютно черного тела, равный $5{,}7 \cdot 10^{-8}$ Вт/(м^2·К^4);

$\delta_р$ – толщина ребра ячейки (см. черт. 2);

h_2 – высота ячейки (см. черт. 2);

L – длина контура основания ячейки;

$F_я$ – площадь основания ячейки.

2.4. Определяют значение лучисто-кондуктивной теплопроводности $\lambda''_л$ заполнителя для более холодной части стенки изделия по формуле (I) с заменой переменных $T_{I,2}$ на $T_{3,4}$, h_2 на h_4.

2.5. Определяют значение термического сопротивления для первого расчетного случая по формуле

$$R_{T180} = \frac{h_2}{\lambda'_л + \lambda'_В} + \frac{h_4}{\lambda''_л + \lambda''_В} + \frac{h_1 + h_3 + h_5}{\lambda}; \qquad (2)$$

где $\lambda'_В, \lambda''_В$ – теплопроводность воздуха в ячейках при температурах T_I и T_2 соответственно без учета конвекции;

h_1, h_3, h_5 – толщины обшивок и соединительного слоя (см. черт. 2);

$\lambda'_{л_I}, \lambda''_л$ – теплопроводность материала обшивок и соединительного слоя.

2.6. Определяют уточненные значения температур $T_{I,2}$, $T_{2,3}$, $T_{3,4}$, $T_{4,5}$ и T_I и T_2 по формуле

$$T_{m,m+1} = T_+ - K\left(\frac{1}{\alpha_+} + \sum_{i=1}^{m} \frac{h_i}{\lambda_i}\right)(T_+ - T_-), \qquad (3)$$

где $m = I, 2, 3, 4$,

$$K = \frac{1}{\frac{1}{\alpha_-} + R_{T180} + \frac{1}{\alpha_+}},$$

$$T_I = \frac{T_{1,2} + T_{2,3}}{2}, \quad T_2 = \frac{T_{3,4} + T_{4,5}}{2}, \quad \lambda_I = \lambda_3 = \lambda_5 = \lambda,$$

m – порядковый номер слоя, начиная от температуры T_+;

$T_{m,m+1}$ – температура на стыке m-го и (m+I)-го слоев;

α_+, α_- – коэффициенты теплообмена поверхностей стенки с греющей и нагреваемой средами;

h_i – толщина i-го слоя;

λ_2 – теплопроводность нагретого слоя заполнителя, равная $\lambda'_л + \lambda'_В$;

λ_4 – теплопроводность более холодного слоя заполнителя, равная $\lambda''_л + \lambda''_В$.

3. ВТОРОЙ РАСЧЕТНЫЙ СЛУЧАЙ

3.1. Во втором расчетном случае в теплопередаче участвуют лучистый перенос, теплопроводность (кондукция) и конвекция.

3.2. Определяют лучисто-кондуктивные составляющие теплопроводности заполнителя для нагретой и более холодной стенки по формуле (1).

3.3. Определяют значение конвективной составляющей теплопроводности заполнителя для нагретой части стенки по формуле

$$\lambda'_к = Nu \cdot \lambda'_в \; , \qquad (4)$$

где $$Nu = 1+0{,}037\chi\left[1-\exp\left(\frac{-1{,}19(\chi-\chi_к)}{\chi_к}\right)\right],$$

$$\chi = Ra^{0,33}, \; \chi_к = Ra_{1к}^{0,33}, \; Ra = \frac{\beta \cdot g(T_{1,2}-T_{2,3})h_2^3}{\alpha_T \cdot \nu},$$

$\lambda'_к$ – конвективная составляющая теплопроводности;

$Ra_{1к}$ – критическое число Рэлея, находят из графика (черт. 3) в зависимости от ℓ ;

β – коэффициент объемного расширения газа, равный $\frac{1}{273}$ $\frac{1}{К}$;

Nu – число Нуссельта;

Ra – число Рэлея;

g – ускорение силы тяжести, равное 9,81 м/с^2;

α_T – коэффициент температуропроводности воздуха при температуре T_I;

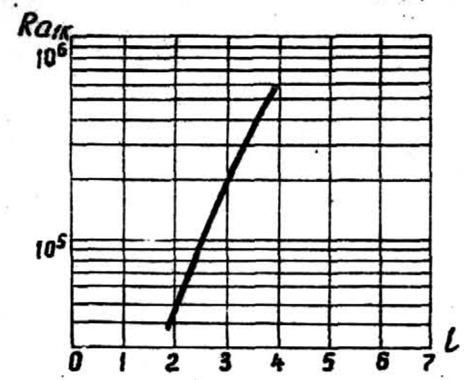
ν – кинематическая вязкость воздуха при температуре T_I.

3.4. Определяют значение конвективной составляющей теплопроводности заполнителя $\lambda''_в$ для более холодной части стенки по формуле (4) с заменой переменных $T_{I,2}$ на $T_{3,4}$, $T_{2,3}$ на $T_{4,5}$, T_I на T_2, $\lambda'_в$ на $\lambda''_в$.

3.5. Определяют термическое сопротивление для второго расчетного случая по формуле

$$R_{T_{0-90}} = \frac{h_2}{\lambda'_л+\lambda'_в} + \frac{h_4}{\lambda''_л+\lambda''_в} + \frac{h_1+h_3+h_5}{\lambda} \; . \qquad (5)$$

Зависимость критического числа Рэлея Ra_{1k} от ℓ



Черт. 3

3.6. Определяют уточненные значения температур $T_{I,2}$, $T_{2,3}$, $T_{3,4}$, $T_{4,5}$, T_I и T_2 по формуле (3) с заменой переменных $R_{T_{I80}}$ на $R_{T_{0-90}}$, λ_2 на λ'_2, λ_4 на λ'_4, где $\lambda'_2 = \lambda'_л + \lambda'_в$, $\lambda'_4 = \lambda''_л + \lambda'_в$.

4. ТРЕТИЙ РАСЧЕТНЫЙ СЛУЧАЙ

4.1. В третьем расчетном случае участвуют механизмы теплопередачи, учитываемые в п. 3.1.

4.2. Определяют значения $R_{T_{I80}}$ и $R_{T_{0-90}}$ в соответствии с разделами 2 и 3.

4.3. Определяют термическое сопротивление $R_{T_{90-I80}}$ для третьего расчетного случая по формуле

$$R_{T_{90-I80}} = R_{T_{0-90}} + (R_{T_{I80}} - R_{T_{0-90}}) \frac{\theta - 90}{90} \; . \qquad (6)$$

4.4. Определяют уточненные значения температур $T_{I,2}$, $T_{2,3}$, $T_{3,4}$, $T_{4,5}$, T_I и T_2 для первого и второго расчетных случаев в соответствии с пп. 2.5 и 3.5.

5. УТОЧНЕНИЕ РЕШЕНИЯ

5.1. На основании вычисленного для заданного расчетного случая в пп. 2.5, 3.5 и 4.4 уточненного распределения температур по слоям стенки определяют соответствующие уточненные значения $\bar{R}_{T180}$, $\bar{R}_{T0-90}$, $\bar{R}_{T90-180}$.

5.2. Определяют относительное отклонение уточненного значения термического сопротивления от приближенного его значения по формуле

$$\delta = \frac{\left|\bar{R}_T - R_T\right|}{\bar{R}_T}, \tag{7}$$

где δ – относительное отклонение термического сопротивления;
$\bar{R}_T$ – уточненные значения термического сопротивления;
R_T – приближенное значение термического сопротивления.

5.3. Расчет по п. 5.2 повторяют, пока не будет выполнено условие $\delta \leqslant \delta_{зад}$,

где $\delta_{зад}$ – заданная погрешность вычислений.

5.4. Значение термического сопротивления, полученное в последнем приближении, принимают за величину термического сопротивления стенки.

СОДЕРЖАНИЕ